

## Analisis Pengaruh Proses Brazing Kuningan Terhadap Perubahan Sifat Mekanis dari Pipa Baja Karbon Rendah

Mardiana<sup>1)</sup>, dan Djoko W. Karmiadiji<sup>2)</sup>

<sup>1)</sup>Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri Sriwijaya

Jl. Sriwijaya Negara, Bukit Besar, Palembang

<sup>2)</sup> Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Pancasila

Srengseng Sawah, Jakarta Selatan

### Abstract

*Low carbon steel has suitable physical properties such as: easily to be casted, welded and machined. Generally, this steel is used for construction, hospital and house hold equipment, and so on. Some equipment structures employ low carbon steel pipe for basic construction, in which a lot of brazing joins are applied for connecting each pipe to form a house hold or hospital equipment. This research analyzes the brazing method, since it is commonly used to obtain smoother joint surface compared with the other method and having lower melting temperature than the pipe. The analysis emphasizes the transformation of mechanical characteristics such as: tensile strength, hardness, micro and macro structures. The result of this research shows that the maximum tensile strength is 509 N/mm<sup>2</sup> when the welded groove is 0,5 mm, or 2,35% greater than welded metal strength, and 12,5% less than base metal strength. The hardness values are decreasing compared with the base metal, i.e., 18,5% of average, 18,57% at HAZ (Heat Affected Zone), and 19,81% of pipe metal under the value of base metal.*

**Kata kunci:** Brazing, pipa baja karbon rendah, sifat mekanis

### 1. Pendahuluan

Baja karbon rendah mempunyai sifat mudah ditempa, mampu las yang baik dan mudah untuk di mesin. Baja karbon rendah merupakan paduan yang terdiri dari unsur besi (Fe) dan carbon (C) dengan sedikit unsur paduan seperti Si, P, Mn dan Cu dengan kandungan karbon kurang dari 0,30% (Harper, 2001; Zamil, 2009). Penggunaan baja karbon rendah sangat luas seperti pada konstruksi gedung, komponen-komponen mesin, kerangka kendaraan, dan lain-lain sesuai dengan kadar carbon dari baja karbon rendah tersebut. Untuk baja karbon rendah dengan kadar karbon 0,05% s/d 0,20% C digunakan antara lain : bodi kendaraan, gedung, pipa-pipa, rantai, paku keling, mur dan paku; untuk kadar karbon 0,20% s/d 0,30% digunakan antara lain: poros, roda gigi, baut, penempatan, jembatan dan gedung (Hasnan, 2009).

Banyak cara yang dapat digunakan dalam penyambungan logam antara lain: sambungan las, brazing, baut dan mur, las titik dan lain-lain. Brazing adalah proses penyambungan logam

menggunakan logam ketiga yang tidak sejenis, misalnya dengan tembaga, kuningan atau perak untuk penyambungan baja (Kusharjanto, 2009; Wiryosumarto, 2000). Saat ini sambungan brazing telah banyak digunakan secara luas seperti pada roket mesin jet, komponen pesawat terbang, peralatan rumah sakit, peralatan rumah tangga dan lain-lain.

Keuntungan proses brazing (Anonim, 2009) antara lain:

1. Temperatur rendah pada brazing dan brass-welding sehingga kemungkinan terjadinya distorsi pada benda kerja sangat kecil.
2. Hubungan temperatur yang rendah dengan brazing dapat meningkatkan kecepatan penyambungan, sehingga mengurangi pemakaian bahan bakar gas.
3. Brazing lebih mudah untuk dipelajari bagi pemula dibanding pengelasan. Dalam hal ini, jika benda kerjanya tipis (mis.: pelat logam atau pipa tipis), maka dengan brazing akan

lebih mudah karena tidak mudah terjadi erosi (*burn-through*) karena panas.

4. Metode brazing merupakan suatu teknik yang efektif dan murah untuk produksi massal. Komponen dapat dirakit dengan plug material pengisi yang diposisikan pada sambungan dan kemudian dipanaskan di dalam suatu tungku perapian atau melewati pemanasan stasiun perakitan.

Berdasarkan pengalaman di lapangan proses brazing dengan bahan kuningan menghasilkan permukaan sambungan yang relatif halus, sehingga lebih mudah untuk pengerjaan lanjut seperti electro plating, pengecatan dan lain-lain. Untuk itulah penulis merasa perlu untuk melakukan penelitian guna mengetahui karakteristik mekanis dari proses brazing dengan bahan tambah kuningan pada pipa baja karbon rendah.

Dalam pembuatan spesimen riset digunakan sambungan brazing pada pipa baja karbon rendah dengan diameter pipa  $\frac{3}{4}$ " (21 mm), dimana temperatur penyambungan tetap dan menggunakan bahan tambah kuningan. Sedangkan untuk mengetahui karakteristik mekanisnya, maka dilakukan pengujian komposisi kimia, pengujian struktur mikro pipa baja karbon rendah sebelum dan sesudah penyambungan, pengujian tarik setelah dilakukan proses brazing.

## 2. Fundamental

Karakteristik utama material logam dari suatu spesimen uji meliputi komposisi kimia, struktur mikro, dan karakteristik mekanis yang terdiri dari kekuatan atau tegangan dan kekerasan. Nilai kuantitatif karakteristik ini diperoleh melalui analisis kimia, uji metalography, uji tarik dan uji kekerasan, sehingga beberapa step pengujian harus dilakukan untuk mendapatkan karakteristik ini.

Kekuatan tarik benda dirumuskan sebagai beban maksimum dibagi dengan luas penampang awal benda uji.

$$\sigma_u = \frac{P_u}{A_o} \quad (1)$$

dimana:

$\sigma_u$  = kekuatan tarik (N/mm<sup>2</sup>)

$P_u$  = beban maksimum pada saat spesimen uji putus (N)

$A_o$  = luas penampang awal benda uji (mm<sup>2</sup>)

Pengujian kekerasan memiliki metode yang beragam, yang banyak digunakan diantaranya pengujian kekerasan Brinell, Rockwell dan Vickers. Pengujian kekerasan Brinell merupakan pengujian standar secara industri, dimana metode Brinell dilakukan dengan indentasi dari penekan yang terbuat dari bola baja dengan diameter  $D$ , setelah beban dihilangkan maka akan meninggalkan bekas penekanan dengan diameter  $d$ .

Nilai kekerasan spesimen didapat dari rumus berikut:

$$HB = \frac{2F}{\pi D \left( D - \sqrt{D^2 - d^2} \right)} \text{ kgf} \quad (2)$$

dimana:

$HB$  = nilai kekerasan menurut metode Brinell

$F$  = gaya penekanan dalam N atau kgf

$D$  = diameter indenter

$d$  = diameter penekanan

## 3. Metodologi Penelitian

Dalam penelitian ini, permasalahan yang akan dipelajari lebih mendalam adalah sifat mekanis yang terbaik dari sambungan brazing dengan logam pengisi (kuningan) terhadap pengaturan jarak kampuh untuk mendapatkan kekuatan mekanis yang mendekati logam induk (*base metal*) pipa baja karbon rendah.

Tahap pelaksanaan riset ini terbagi dalam 4 tahap sebagai berikut :

Tahap I: Pembentukan spesimen uji, yaitu mempersiapkan spesimen uji sehingga mempunyai ukuran standar sesuai dengan standar pengujian yang akan digunakan.

Tahap II: Penyambungan dua buah pipa baja karbon rendah yang dijadikan spesimen uji dengan metode brazing yang material isinya menggunakan kuningan. Tujuan dari tahap ini untuk mendapatkan spesimen uji tarik dan kekerasan yang sudah tersambung untuk kemudian dilakukan pengujian mekanik yaitu pengujian tarik dan kekerasan.

Tahap III: Proses pengujian, dengan melakukan pengujian komposisi kimia, pengujian struktur mikro, pengujian tarik dan pengujian kekerasan. Pengujian komposisi kimia dilakukan di Laboratorium Balai Besar Teknologi Kekuatan Struktur (B2TKS-BPPT) – di PUSPIPTEK Serpong dengan menggunakan *H ARC-MET 930*. Pengujian struktur mikro dilakukan di laboratorium mekanik Politeknik Negeri Sriwijaya dengan menggunakan kamera Olympus, Type GX 41 dengan pembesaran 200x. Pengujian tarik dilakukan pada mesin uji tarik universal Merk TORSEE, tipe RAT 30F kapasitas 30 ton. Pengujian kekerasan menggunakan metode kekerasan Brinnel (HB) dengan mesin uji Merk GNEHM-HORGEN, dimana beban ( $F$ ) 187,5 kgf, diameter indenter 2,5 mm dan lama waktu penekanan 15 detik.

Tahap IV: Pengolahan data pengujian, dimana data pengujian akan dianalisis secara kualitatif dan kuantitatif, serta diolah sebagai data awal pengujian. Hasil dari tahap IV ini kemudian dianalisis untuk mendapatkan kesimpulan dari proses penelitian ini.

#### 4. Hasil dan Pembahasan

Pengujian komposisi kimia bertujuan untuk mengetahui kadar (persentase) setiap unsur pembentuk suatu logam baik itu logam ferro maupun logam non ferro. Pengelompokan baja berdasarkan pada kandungan karbonnya dapat dibagi dalam 3 bagian. Baja dengan kandungan karbon kurang dari 0,30% disebut baja karbon rendah, baja dengan kadar karbon 0,30% - 0,45% disebut baja karbon sedang dan dengan kadar karbon 0,45% sampai 0,71% disebut baja karbon tinggi.

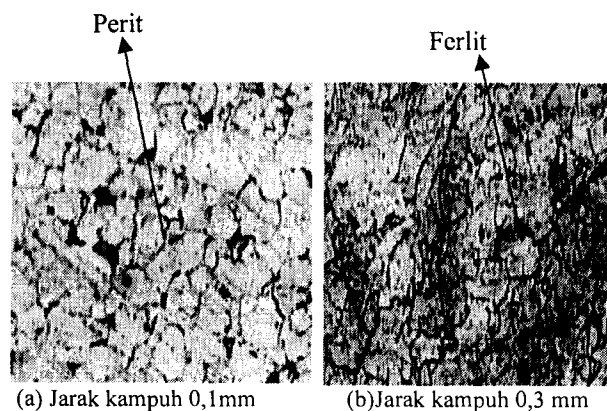
Hasil pengujian komposisi kimia spesimen uji dituangkan dalam tabel 1, dimana dari hasil ini menunjukkan kandungan karbon sebesar 0,052 % sehingga pipa baja ini diklasifikasikan kedalam kelompok baja karbon rendah.

**Tabel 1.** Komposisi kimia spesimen

No	Nama Unsur	Simbol	Kadar (%)
1	Ferum	Fe	99,7
2	Carbon	C	0,052
3	Silicon	Si	< 0,063
4	Mangan	Mn	0,21
5	Sulfur	S	0,0098
6	Nickel	Ni	< 0,018
7	Molibdenum	Mo	< 0,0018
8	Cuprum	Cu	0,078
9	Aluminium	Al	0.0046
10	Vanadium	V	0,0060
11	Wolfram	W	0,069
12	Niobium	Nb	0,0015
13	Posfor	P	0,0039

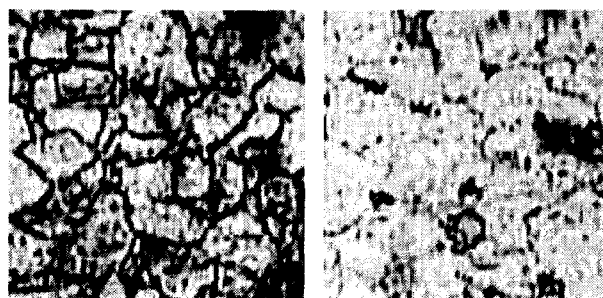
#### Pengujian Struktur Mikro dan Struktur Makro

Pengujian struktur mikro dilakukan pada logam induk dan daerah HAZ hasil pengelasan brazing dengan jarak kampuh 0,1, 0,3, 0,5, 0,7 dan 1,0 mm, dimana hasil pengujiannya pada gambar 1. Struktur mikro pada gambar tersebut didominasi butir-butir ferit yang berwarna putih (terang), sedangkan fasa perlit lebih sedikit (berwarna gelap). Butir ferit cenderung lebih halus sedangkan butir perlit lebih kasar. Butir perlit cenderung lebih keras karena mengandung karbon, sedangkan butir ferit cenderung lunak. Pada gambar struktur mikro a s/d f nampak dengan jelas tidak terjadi perubahan struktur ferit dan ferit ke struktur martensit maupun bainit karena pengaruh perubahan temperatur dan proses pendinginan proses brazing tidak merubah struktur pada daerah HAZ.



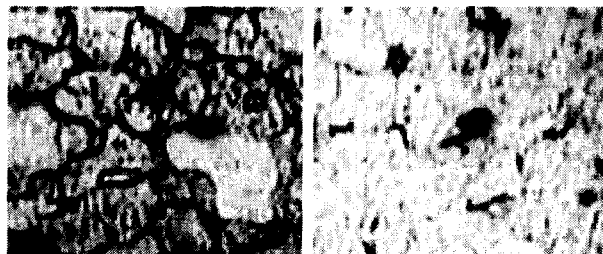
(a) Jarak kampuh 0,1mm

(b) Jarak kampuh 0,3 mm



(c) Jarak kampuh 0,5 mm

(d) Jarak k ampuh 0,7 mm



(e) Jarak kampuh 1,0 mm

(f) Logam induk

**Gambar 1.** Struktur mikro untuk logam induk dan daerah HAZ

Pada gambar 2 menunjukkan struktur makro dua daerah las yaitu daerah logam las dan logam induk, dimana tidak nampak dengan jelas daerah HAZ ini karena panas yang digunakan pada proses brazing berada di bawah suhu rekristalisasi sehingga pada logam las tidak cukup untuk dapat merubah struktur dari logam.

Sambungan brazing



Logam induk



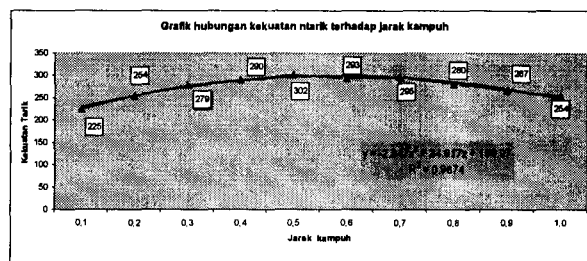
**Gambar 2.** Struktur makro untuk jarak kampuh 0,5 mm (a); dan 0,7 mm (b)

### Pengujian Tarik

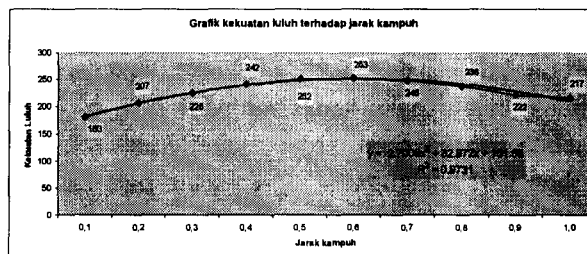
Pengujian tarik dilakukan untuk mengetahui kekuatan luluh, kekuatan tarik, perpanjangan dan modulus elastisitas spesimen uji, dimana metode uji ini menggunakan standar ASTM A 370 yang hasil pengujian dapat dilihat pada tabel 2. Dalam hal ini spesimen uji dibuat dari pipa baja karbon rendah dengan diameter luar 21 mm dan diameter dalam 18,6 mm.

**Tabel 2.** Hasil pengujian tarik

No	Jarak Kampuh	Elongation (%)	$\sigma_y$ N/mm <sup>2</sup>	$\sigma_u$ N/mm <sup>2</sup>
1	Logam induk	9,70	286	357
2	0,1	3,23	180	225
3	0,2	3,50	207	254
4	0,3	3,84	225	279
5	0,4	4,10	242	290
6	0,5	4,30	252	302
7	0,6	4,51	253	293
8	0,7	4,42	248	295
9	0,8	4,40	238	280
10	0,9	4,55	222	267
11	1,0	4,57	217	254



**Gambar 3.** Hubungan jarak kampuh terhadap tegangan tarik



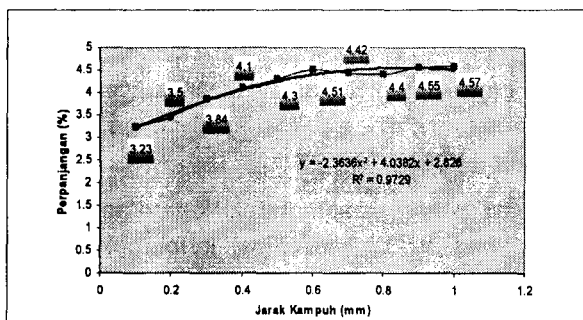
**Gambar 4.** Hubungan jarak kampuh terhadap tegangan luluh

**Tabel 3.** Hasil uji tarik kuningan

No	Elongation (%)	$\sigma_y$ N/mm <sup>2</sup>	$\sigma_u$ N/mm <sup>2</sup>
1	19,42	331	499,39
2	17,72	329	496,56
3	18,50	330	497,95
Rerata	18,55	330	497,96

Pengujian tarik dilakukan juga terhadap logam brazing (kuningan) di tempat yang sama tetapi dengan mesin uji yang berbeda dengan kapasitas yang lebih kecil yaitu pada mesin uji tarik universal Merk *gunt* WP310, dimana hasil pengujiannya ditunjukkan pada tabel 3.

Dari hasil pengujian tarik terhadap hasil penyambungan dengan proses brazing dengan jarak kampuh 0,1 s/d 1,0 putusnya material berada pada sambungan las brazing. Pada gambar 3 dapat kita lihat adanya peningkatan yang cukup signifikan, dimana pada jarak kampuh 0,1 mm kekuatan tariknya 225 N/mm<sup>2</sup> dan pada jarak 0,2 mm terjadi peningkatan sebesar 12,9%. Pada jarak kampuh 0,3 mm terjadi kenaikan tegangan tarik yaitu sebesar 5,68% dan keadaan ini terus meningkat sampai pada jarak 0,5 mm menjadi 302 N/mm<sup>2</sup>. Pada jarak kampuh 0,6 terjadi penurunan sebesar 2,98% dan penurunan ini terjadi sampai pada jarak kampuh 1,0 mm terjadi penurunan kekuatan tarik sampai 15,89% dari jarak kampuh 0,5. Tegangan tarik maksimum terjadi pada jarak kampuh 0,5 sebesar 302 N/mm<sup>2</sup> dan tegangan ini berada 12,97% di bawah tegangan tarik logam induk yaitu sebesar 347 N/mm<sup>2</sup> dan berada 39,51% di bawah tegangan tarik logam brazing (kuningan).



**Gambar 5.** Hubungan jarak kampuh terhadap perpanjangan (*elongation*).

Pada gambar 5 jarak kampuh 0,1 mm perpanjangannya sebesar 3,23% dan terjadi peningkatan 7,7%, pada jarak kampuh 0,2 mm perpanjangan terus meningkat sampai pada jarak kampuh 0,5 mm dimana terjadi peningkatan perpanjangan menjadi 45,2%, dimana nilai perpanjangan ini merupakan nilai perpanjangan maksimum. Pada

jarak kampuh 0,6 terjadi penurunan kembali sebesar 3,8% sampai pada jarak kampuh 0,8 mm terjadi penurunan perpanjangan, tetapi pada jarak kampuh 0,9 mm dan 1,0 mm terjadi kenaikan perpanjangan kembali sebesar 3,3% dan 0,4%. Perpanjangan maksimum terjadi pada jarak kampuh 0,5 mm yaitu dengan perpanjangan 4,69% dan nilai perpanjangan ini 51,6% dibawah perpanjangan logam induk dan 74,71% dibawah perpanjangan logam las.

### Pengujian Kekerasan

Pengujian kekerasan dalam penelitian ini dilakukan masing-masing 3 titik yaitu pada logam las/kuningan (titik1), daerah HAZ (titik 2) dan logam induk (titik 3). Sehingga dari hasil pengamatan diperoleh  $F = 187,5$  kgf,  $D$  (diameter indenter) = 2,5 mm, diameter penekanan ( $d$ ) untuk jarak kampuh 0,1 mm = 1,538 mm, maka dari rumus (2) didapat:

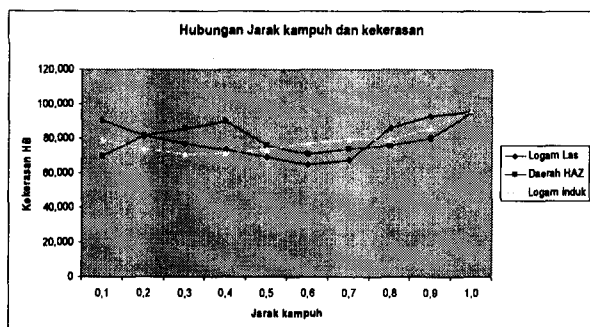
$$HB = \frac{2F}{\pi D \left( D - \sqrt{D^2 - d^2} \right)} = \frac{2 \times 187,5}{3,14 \times 2,5 \left( 2,5 - \sqrt{2,5^2 - 1,538^2} \right)}$$

$$HB = 90,340 \text{ kgf/mm}^2$$

Dengan cara perhitungan yang sama terhadap data-data pengukuran yang telah dilakukan pada titik-titik ukur yang telah ditentukan diatas yaitu titik 1, 2 dan 3, maka nilai kekerasan spesimen uji ditunjukkan pada tabel 4.

**Tabel 4.** Kekerasan untuk jarak kampuh 0,1 s/d 1,0 mm

NO	Jarak K	HB (kgf/mm <sup>2</sup> ) Titik 1	HB (kgf/mm <sup>2</sup> ) Titik 2	HB (kgf/mm <sup>2</sup> ) Titik 3
1	0,1	90,340	69,994	78,735
2	0,2	81,374	81,374	73,673
3	0,3	76,763	85,595	70,975
4	0,4	73,487	89,919	71,064
5	0,5	69,523	75,576	73,595
6	0,6	64,815	70,877	77,028
7	0,7	67,346	73,781	79,088
8	0,8	85,828	75,684	78,627
9	0,9	92,920	79,687	85,828
10	1,0	95,579	94,892	95,657



**Gambar 6.** Nilai kekerasan fungsi jarak kampuh pada logam las, daerah HAZ dan logam induk

**Tabel 5.** Nilai kekerasan material dasar

No	Spesimen	HB kgf/mm <sup>2</sup>
1	Baja karbon rendah	97,923
2	Logam las (kuningan)	48

Pada gambar 6. yaitu pada titik penekanan 1 (daerah logam las) nilai kekerasan pada jarak kampuh 0,1 mm sebesar 90,304 HB dan terjadi penurunan kekerasan sebesar 9,9% pada jarak kampuh 0,2 mm, hingga penurunan itu menjadi 26,26% pada jarak kampuh 0,6 mm. Pada jarak kampuh 0,7 mm terjadi kenaikan sebesar 3,9%, sampai pada jarak kampuh 1,0 mm sebesar 47,5% dibanding jarak kampuh 0,6 mm dan kekerasan maksimum logam las terjadi pada jarak kampuh 1,0 mm pada titik ukur 3 yaitu sebesar 95,579 HB, dimana angka kekerasan ini 2,4% dibawah angka kekerasan dari logam induk yaitu sebesar 97,923 HB.

Kekerasan Brinell pada titik penekanan 3 yaitu pada logam induk tidak begitu terpengaruh temperatur dari proses pengelasan sehingga angka kekerasan rata-rata 78,48 HB mendekati kekerasan logam induk dimana kekerasan minimum sebesar 70,975 HB yaitu pada jarak kampuh 0,3 mm dan pada jarak kampuh yang lainnya nilai kekerasan berada diatas jarak 0,3 mm. Kekerasan maksimum terjadi pada jarak kampuh 1,0 mm dengan kekerasan Brinell maksimum yaitu 95,657 HB dimana nilai kekerasan tersebut berada 1,3% dibawah nilai kekerasan material induk (pipa baja karbon rendah) 96,942 HB. Untuk melihat perbandingan hubungan jarak kampuh pada logam las, daerah HAZ dan logam induk pada gambar 6.

Dari data hasil penelitian diketahui adanya perbedaan struktur mikro, kekerasan, kekuatan tarik dari kelompok material induk dan kelompok yang dikenai proses brazing dengan 10 variasi jarak kampuh pengelasan. Hasil pengujian material induk mempunyai ketangguhan paling besar dibanding dengan 10 variasi jarak kampuh, dimana pada jarak kampuh 0,5 mm mempunyai nilai tegangan tarik tertinggi dari 10 variasi jarak kampuh, yaitu 302 N/mm<sup>2</sup> berada 39,35% di bawah tegangan tarik logam las (kuningan) atau 497,96 N/mm<sup>2</sup> dan 12,97% di bawah tegangan tarik logam induk (baja karbon rendah).

Struktur mikro pada logam induk adalah ferit dan perlit yang mempunyai butiran kasar. Struktur ferit mempunyai kekuatan dan keuletan cukup, sedangkan unsur perlit mempunyai sifat yang keras dan kurang ulet. Pada gambar 1 (c) yaitu pada proses brazing 0,5 mm struktur ferit mendominasi area dan ini menunjukkan sifat kekuatan dan keuletan yang dapat mendekati bahkan melebihi logam induk. Pengujian tarik kelompok logam induk mempunyai nilai kekuatan yang cukup tinggi, karena mengandung unsur Mn yang besarnya yaitu 0,21% dan kandungan unsur silicon (Si) < 0,063%. Fungsi dari unsur Mn adalah untuk mengikat karbon (C) membentuk karbida mangan (Mn<sub>3</sub>C) yang dapat menaikkan kekuatan, ketangguhan dan meningkatkan kekerasan pada baja. Fungsi dari kandungan unsur silicon adalah pembentuk ferit yang dapat meningkatkan kekuatan dari baja.

Nilai perpanjangan untuk logam induk tertinggi yaitu 9,7% dibanding kelompok variasi jarak kampuh. Untuk kelompok variasi pada jarak kampuh 0,5 mm mempunyai nilai perpanjangan tertinggi yaitu 4,67%.

### Kesimpulan

Hasil pengujian komposisi kimia menunjukkan bahwa spesimen uji pipa baja termasuk dalam kelompok pipa baja karbon rendah dengan kadar karbon kurang dari 0,30% yaitu sebesar 0,052%C.

Kekuatan tarik dan kekuatan luluh maksimum terjadi pada proses brazing dengan jarak kampuh 0,5 mm yaitu 302 N/mm<sup>2</sup> dan 252 N/mm<sup>2</sup> mendekati kekuatan tarik dan luluh logam induk

yaitu untuk kekuatan tarik 12,97% di bawah logam induk sedangkan tegangan luluh 12,47% dibawah tegangan luluh logam induk.

Kekerasan maksimum pada titik 1 (logam las), titik 2 (daerah HAZ) dan titik 3 (logam induk) masing-masing 9,743 N/mm<sup>2</sup>, 9,673 N/mm<sup>2</sup>, dan 9,751 N/mm<sup>2</sup> mendekati nilai kekasaran logam induk tanpa las yaitu sebesar 9,98 N/mm<sup>2</sup> dan berada di atas kekuatam tarik logam las 4,89 N/mm<sup>2</sup>. Hal ini terjadi karena adanya pengaruh peningkatan temperatur pengelasan yang dapat mengubah struktur mikro daerah HAZ yaitu struktur ferit sehingga meningkatkan sifat mekanik dari logam.

#### Daftar Pustaka

- Harper, C., (2001), "Handbook of Materials For Product Design", McGraw-Hill Handbook, third Edition.
- Hasnan, A., (2009), "Mengenal Baja", Tutorial, [Http:// www.oke.or.id](http://www.oke.or.id), 25 Oktober.
- Kusharjanto, (2009), "Pengaruh Ketebalan Logam Pengisi terhadap Sifat-Sifat Mekanik dan Struktur Mikro Sambungan Silver Brazing", Civil Engineering Faculty of Narotama University, e Journal\G\ Brazing, 25 Oktober
- Wiryosumarto, H., Okumura. T., (2000), "Teknologi Pengelasan Logam", PT Pradnya Paramita. Jakarta
- Zamil, M. F., (2009), "Carbon Equivalent", PT. Medco Inoxprima, Surabaya, [http://tech.groups.yahoo.com/group/Migas\\_Indonesia/Message/15678](http://tech.groups.yahoo.com/group/Migas_Indonesia/Message/15678), 21 Nopember
- Anonim, (2009), Back Weld and Backing Weld, <http://www.Selecta.kencana.com/p.brazing>, 21/11/2009